

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РАДИОНУКЛИДНЫЕ ИСТОЧНИКИ ДЛЯ БЕТА-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ: МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТ

Пономарева Е.А.<sup>1</sup>, Кузнецова Т.В.<sup>1,2</sup>, Патраков Е.И.<sup>1</sup>, Кузнецов З.Б.<sup>1,2</sup>,  
Иванов В.Ю.<sup>2</sup>, Кузнецов М.В.<sup>3</sup>, Якушев М.В.<sup>1,2,3</sup>

<sup>1)</sup> Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН, Екатеринбург, Россия

<sup>2)</sup> Уральский федеральный университет имени первого Президента России  
Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

<sup>3)</sup> Институт химии твердого тела УрО РАН, Екатеринбург, Россия  
E-mail: [kat9107@yandex.ru](mailto:kat9107@yandex.ru)

## PROSPECTIVE RADIONUCLIDE SOURCES FOR BETA- TRANSDUCERS: SIMULATION AND EXPERIMENT

Ponomareva E.A.<sup>1</sup>, Kuznetsova T.V.<sup>1,2</sup>, Patrakov E.I.<sup>1</sup>, Kuznetsov Z.B.<sup>1,2</sup>,  
Ivanov V.Yu.<sup>2</sup>, Kuznetsov M.V.<sup>3</sup>, Yakushev M.V.<sup>1,2,3</sup>

<sup>1)</sup> M.N. Miheev Institute of Metal Physics, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

<sup>2)</sup> Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

<sup>3)</sup> Institute of Solid State Chemistry, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

The possibility of using chalcopyrite and kesterite materials in betavoltaics was studied. Radionuclide  $\beta$ -sources were analyzed and ones suitable for  $\beta$ -transducers were selected. Prototypes of betavoltaics were created using SEM and comparative analysis of their parameters was carried out.

Бетавольтаические элементы питания, основанные на преобразовании радиоизотопной энергии в электрическую, считаются перспективными автономными источниками энергоснабжения с длительным сроком службы. Однако, чтобы конкурировать с другими источниками энергии, их эффективность и плотность энерговыделения должны быть достаточно высокими. Этого можно добиться путем выбора оптимального  $\beta$ -источника и полупроводника в качестве поглотителя [1, 2].

Цель данной работы заключается в исследовании принципиальной возможности использования в качестве поглотителя в бета-преобразователях халькопиритных материалов на основе  $\text{Cu(In,Ga)Se}_2$  (CIGS) и кестеритов  $\text{Cu}_2\text{ZnSn(S,Se)}_4$  (CZTS). Помимо этого, проводится анализ существующих радионуклидных  $\beta$ -источников и определяются наиболее подходящих среди них. Выбранные полупроводниковые материалы применяются в солнечных элементах и, благодаря своим свойствам, обеспечивают стабильную работу и высокий КПД батарей, при этом обладая высокой радиационной стойкостью.

Для проверки пригодности поглотителей на основе халькопиритных и кестеритных материалов для бета-преобразователей осуществляется выбор источников  $\beta$ -излучения, соответствующих следующим критериям: долгоживущие,

обладающие малыми энергиями  $\beta$ -излучения (ниже 170 кэВ) и низкоэнергетическим фотонным излучением [3].

Одним из распространенных  $\beta$ -источников, используемых как в экспериментальных прототипах батарей, так и на производстве, является тритий Т-3 ( $T_{1/2} = 12,3$  года;  $E_{\beta} = 18,6$  кэВ) в виде твердого соединения тритида титана ( $TiT_2$ ) или жидкости – тритиевой воды ( $T_2O$ ). Характеристики данного радионуклида соответствуют требованиям к источникам для бета-преобразователей, поэтому существует практический интерес к использованию его в экспериментах с исследуемыми поглотителями. Изотоп Ni-63 ( $T_{1/2} = 100,1$  лет;  $E_{\beta} = 65,9$  кэВ) является чистым  $\beta$ -излучателем и соответствует требованиям для источников, используемых в бетавольтаике, но большой период полураспада возможно не обеспечит стабильную плотность энерговыделения. Кроме того, высокая стоимость и сложность наработки данного радионуклида делают его применение в производстве затруднительным [4].

На заключительном этапе работы проводится создание прототипа бета-преобразователя с разными поглощающими слоями:  $Cu(In,Ga)Se_2$  и  $Cu_2ZnSnSe_4$ , соответственно. В качестве источника излучения в эксперименте выступает сканирующий электронный микроскоп (СЭМ). С помощью данной модели удалось получить вольтамперные характеристики (ВАХ) при энергиях возбуждающих электронов 25 и 30 кэВ.

Проведено сравнение и анализ параметров прототипов бетавольтаических элементов на базе  $Cu(In,Ga)Se_2$  и  $Cu_2ZnSnSe_4$  при возбуждении электронным пучком. В перспективе использование в моделях бета-преобразователей выбранных радионуклидных  $\beta$ -источников, а именно, Т-3 и Ni-63 с учетом длин свободного пробега  $\beta$ -частиц в каждом из исследуемых поглотителей.

*Работа выполнена при поддержке проекта РНФ 17-12-01500*

1. Sachenko A.V. et al., Solid-State Electronics, 111, 147, (2015).
2. Yakimov E.B., Applied Radiation and Isotopes, 112, 98, (2016).
3. Нагорнов Ю.С., Современные аспекты применения бетавольтаического эффекта, Ульяновск: УлГПУ, (2012).
4. Машкович В.П., Кудрявцева А.В., Защита от ионизирующих излучений. Справочник., Энергоатомиздат, (1995).